

ANALISIS STRUKTUR PORTAL BAJA 2 D MENGGUNAKAN SISTEM PEREDAM PASIF DENGAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU

Effy Hidayaty¹, Marama Namora Pakpahan²

¹, Dosen Tetap Program Studi Teknik Sipil STT Sapta Taruna, ²Dosen tetap Program Studi Teknik Lingkungan, STT Sapta Taruna,

email : effy_hidayaty@gmail.com

ABSTRACT

Along with the development of technology in earthquake-resistant planning, an alternative design approach has been developed to reduce the risk of damage to earthquake-resistant buildings, and be able to maintain the integrity of structural and non-structural components against strong earthquakes. This design approach is not by strengthening the building structure, but by reducing the earthquake forces acting on the building. At this time there are two kinds of technology that can be used to reduce the effects of earthquakes on buildings so that buildings do not suffer fatal damage after an earthquake. The two technologies are Base Isolation Devices and Seismic Dampers. Seismic Dampers, including passive control devices, are a technology developed to reduce the effects of earthquakes on buildings, which are placed on building structural elements, such as diagonal braces. The results of the analysis in this study indicate that the use of dampers on steel frame structures subjected to earthquake loads can reduce the response of the structure to displacement, velocity, and acceleration. The performance of structures using dampers is better than that of structures without dampers. This can be seen from the reduced floor drift or shear force due to earthquake loads. The damper on the 1st floor dissipates more energy than the floor above. The location of the damper placement in the x-direction is proven to improve the performance of the structure.

Kata kunci : viscous damper, device, reduce, response of the structure, dissipation energy.

1. PENDAHULUAN

Ketika terjadi gempa bumi skala kecil, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan.,sedangkan apabila gempa bumi yang terjadi skala sedang, maka bangunan boleh mengalami kerusakan sedikit, yaitu pada elemen non struktural dan tidak boleh terjadi kerusakan pada elemen struktural. Namun ketika gempa yang terjadi adalah gempa besar, maka bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada elemen struktural maupun non struktural, tetapi tidak boleh sampai runtuh. Prinsip di atas biasanya disebut dengan Prinsip *Bangunan Tahan Gempa*

Tidak semua bangunan memiliki kinerja pasca gempa yang sama. Tentunya untuk bangunan-bangunan penting seperti rumah sakit, pembangkit tenaga listrik/nuklir, badan penanggulangan bencana dll harus memiliki kinerja yang lebih baik dari pada rumah tinggal, karena apabila pasca gempa terjadi kerusakan pada bangunan penting tersebut, maka akan muncul problema yang tidak gampang. Bangunan-bangunan penting, setelah terjadi gempa bumi harus segera bisa beroperasi lagi dan berfungsi dengan baik. Itu berarti tidak boleh terjadi kerusakan yang berarti. Namun untuk membuat bangunan yang demikian tentunya membutuhkan biaya yang tidak sedikit.

Seiring perkembangan teknologi dalam perencanaan tahan gempa, telah dikembangkan suatu pendekatan desain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan tahan gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non struktural terhadap gempa kuat. Pendekatan desain ini bukan dengan cara memperkuat struktur bangunan, tetapi dengan mereduksi gaya gempa yang bekerja pada bangunan.

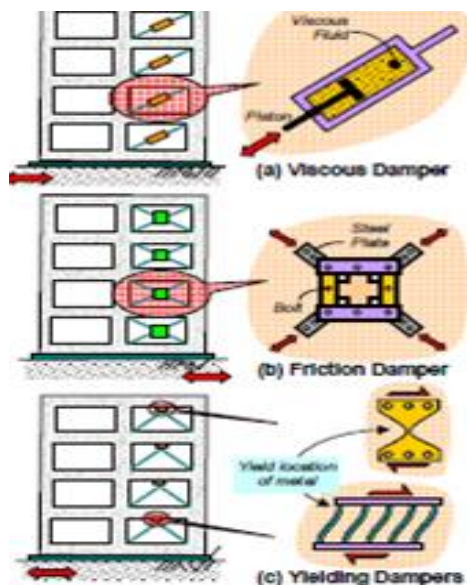
Pada saat ini ada dua macam teknologi yang bisa digunakan untuk mengurangi efek gempa pada bangunan, sehingga bangunan tidak mengalami kerusakan yang fatal pasca gempa bumi. Kedua teknologi tersebut adalah *Base Isolation Devices* dan *Seismic Dampers*.

Seismic Dampers termasuk pada salah satu alat kontrol pasif adalah salah satu teknologi yang dikembangkan untuk mengurangi efek gempa pada bangunan, yang diletakkan pada elemen struktur bangunan, seperti *diagonal braces* (penguat yang dipasang diagonal/menyilang pada elemen struktur). *Seismic Dampers* dalam bangunan berperan seperti *hydraulic shock absorbers* pada mobil. Hentakan mendadak yang dialami mobil akan diredam oleh *hydraulic shock absorbers*, sehingga hanya sedikit yang dipancarkan ke atas mengenai chassis mobil. Begitu pula yang terjadi pada bangunan dengan *seismic dampers*.

Peredam mulai digunakan pada tahun 1960-an, pada awalnya untuk melindungi bangunan tinggi melawan efek angin, yang kemudian terus berkembang seperti sekarang ini.



Gambar 1. Peredam Pasif *Viscous Dampers*



Gambar 2. Alat dissipasi energi seismik

Beberapa macam *seismic dampers*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2, diantaranya adalah (a) *viscous dampers* (energi diredam dengan menggunakan *silicone-based fluid passing between piston-cylinder arrangement*); (b) *Friction dampers* (energi diredam dengan

menggunakan surfaces with friction between them rubbing against each other); dan (c) *Yielding dampers* (energi diredam dengan menggunakan *metallic components that yield*).

Penelitian ini membahas penggunaan *steel dampers* untuk mengurangi respons struktur, yaitu pada sistem struktur rangka baja yang dikenai beban gempa dengan analisis riwayat waktu.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui perilaku peredam pada sistem struktur rangka baja; mengetahui parameter yang mempengaruhi kinerja peredam dan perbandingan kinerja sistem struktur rangka baja dengan peredam dan tanpa peredam.

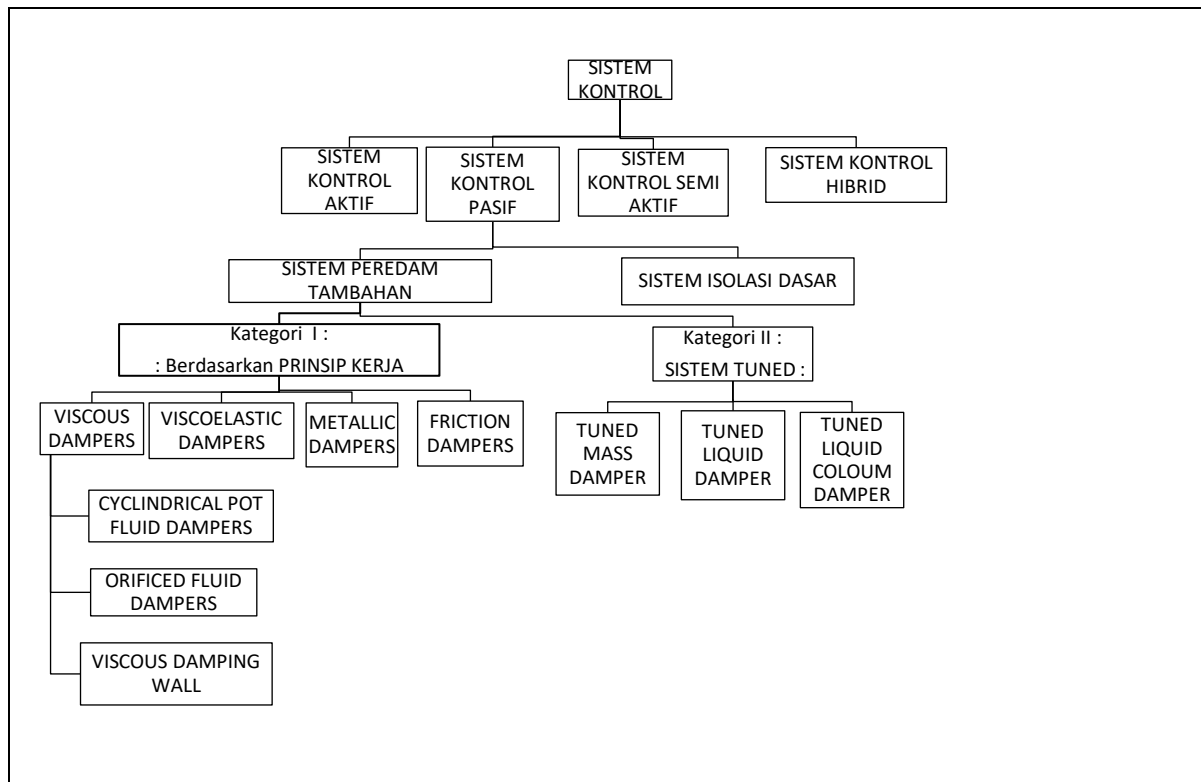
Ruang lingkup dari pembahasan ini adalah Perilaku struktur adalah non-linier, Pembebanan yang dilakukan dalam analisis adalah beban gempa, Struktur yang dianalisis adalah struktur rangka baja 5 lantai 2D, Analisis yang dilakukan adalah membandingkan kinerja sistem struktur dengan redaman dan tanpa redaman, struktur dianalisis dengan analisis riwayat waktu.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Sistem Kontrol Struktur

Sistem kontrol pada struktur terdiri dari sistem kontrol pasif dan sistem kontrol aktif. Sistem kontrol pasif bekerja tanpa menggunakan tambahan energi luar, sehingga gaya kontrol hanya dapat memberikan respon pada struktur dalam batasan tertentu. Walaupun demikian, penggunaan sistem ini masih diminati karena kemudahan pengerjaan dan

ketahanannya. Selain itu, penerapan sistem kontrol pasif tidak beresiko menimbulkan kondisi yang tidak stabil pada struktur. Sistem kontrol pasif dibedakan atas sistem isolasi gempa (seismic isolation system) seperti *elastomeric bearings*, *lead rubber bearings*, *sliding friction pendulum* dan alat penyerap energi mekanik (*passive energy dissipation devices*) seperti *tuned mass dampers*, *tuned liquid dampers*, *metallic dampers*, *visco-elastic dampers*, dan *viscous fluid dampers*.



Gambar 3. Klasifikasi Sistem Kontrol

Sedangkan sistem kontrol aktif bekerja menggunakan tambahan energi luar, sehingga mekanisme kerjanya lebih efektif bila dibandingkan dengan kontrol pasif. Hal ini dikarenakan sistem kontrol aktif dapat

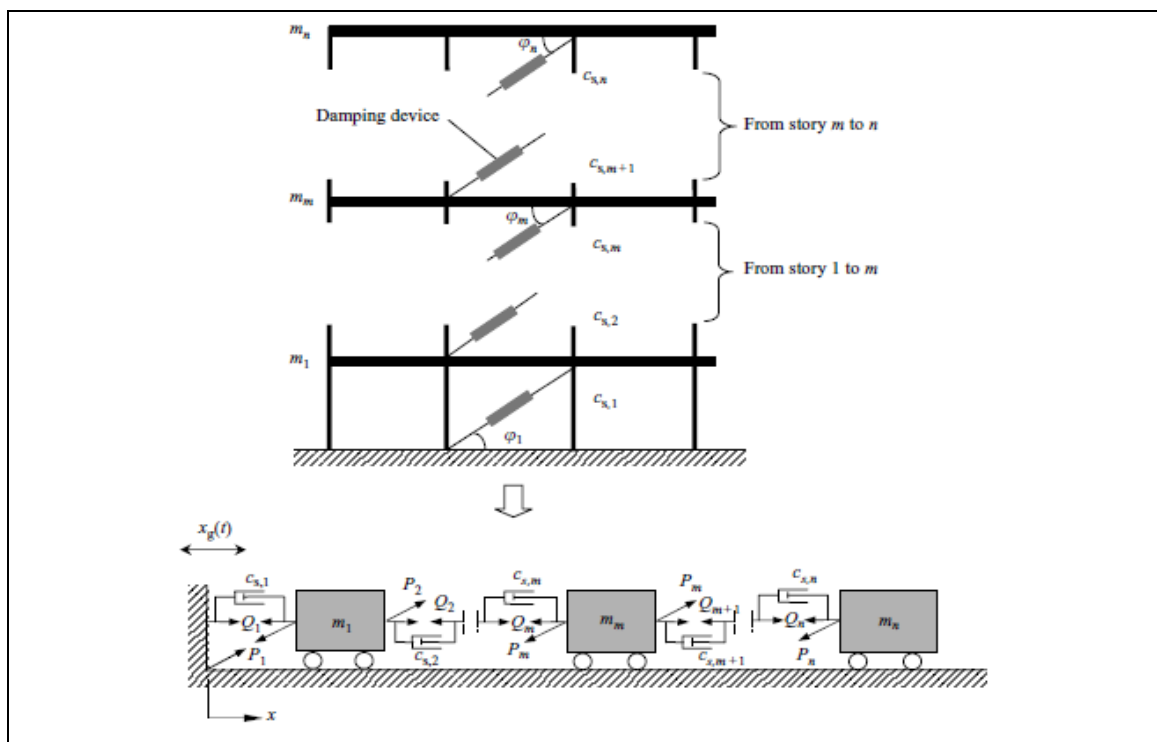
memberikan gaya kontrol pada parameter struktur seperti perpindahan, kecepatan dan percepatan sampai batasan tertentu. Beberapa contoh sistem kontrol aktif yaitu *active bracing systems*, *active mass*

dampers, *variable stiffness* atau *damping systems*, *smart material* dan aktif tendon.

Keunggulan masing-masing sistem kontrol tentunya memberikan pilihan bagi para engineer untuk mengaplikasikannya pada bangunan struktural. Walaupun teknologi kontrol yang banyak berkembang pada abad ke-20 adalah sistem kontrol aktif dan hybrid, namun penggunaan sistem kontrol pasif masih menjadi alternatif yang

lebih relevan dikarenakan total biaya konstruksi yang lebih murah dan pemasangan alat yang lebih sederhana. Toshiyuki (2003) mengemukakan bahwa peredam pasif yang sering digunakan pada bangunan tinggi salah satunya adalah *steel dampers*. Pemilihan ini didasarkan pada tingkat kestabilan dan karakteristik kekuatannya.

2.2 Dasar Teori



Gambar 4. Sketsa struktur MDOF dengan damping devices

Persamaan Gerak Multi Degree Of Freedom (MDOF):

$$m_n \ddot{x}_n + c_{s,n} (\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) + D_n + Q_n = -m_n \ddot{x}_g \quad (1)$$

atau

$$m_n \ddot{x}_n + c_{s,n} (\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) + P_n \cos \phi_n + Q_n = -m_n \ddot{x}_g \quad (2)$$

Atau secara matriks,

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [D]\{1\} + [Q]\{1\} = -\ddot{x}_g [M]\{1\} \quad (3)$$

Dimana :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & m_m & \cdots & 0 & 0 \\ & \text{sym} & & & \ddots & \\ & & & & & m_{n-1} & \\ & & & & & & m_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_{s,1} + c_{s,2} & -c_{s,2} & 0 & 0 & 0 \\ & c_{s,2} + c_{s,3} & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & c_{s,m} + c_{s,m+1} & \cdots & 0 & 0 \\ & \text{sym} & & & \ddots & \\ & & & & & c_{s,n-1} + c_{s,n} & -c_{s,n} \\ & & & & & & c_{s,n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_1 & -D_2 & 0 & 0 & 0 \\ & D_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & D_m & \cdots & 0 & 0 \\ & \text{sym} & & & \ddots & \\ & & & & & D_{n-1} & -D_n \\ & & & & & & D_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} P_1 \cos \varphi_1 & -P_2 \cos \varphi_2 & 0 & 0 & 0 \\ & P_2 \cos \varphi_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & P_m \cos \varphi_m & \cdots & 0 & 0 \\ & & & & \ddots & & \\ & \text{sym} & & & & P_{n-1} \cos \varphi_{n-1} & -P_n \cos \varphi_n \\ & & & & & & P_n \cos \varphi_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_1 & -Q_2 & 0 & 0 & 0 \\ & Q_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \\ & & & Q_m & \cdots & 0 & 0 \\ & & & & \ddots & & \\ & \text{sym} & & & & Q_{n-1} & -Q_n \\ & & & & & & Q_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

$$\{x\}^T = \{x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_m \quad \dots \quad x_{n-1} \quad x_n\} \dots\dots\dots (9)$$

$$\{\dot{x}\}^T = \{\dot{x}_1 \quad \dot{x}_2 \quad \dots \quad \dot{x}_m \quad \dots \quad \dot{x}_{n-1} \quad \dot{x}_n\} \dots\dots\dots (10)$$

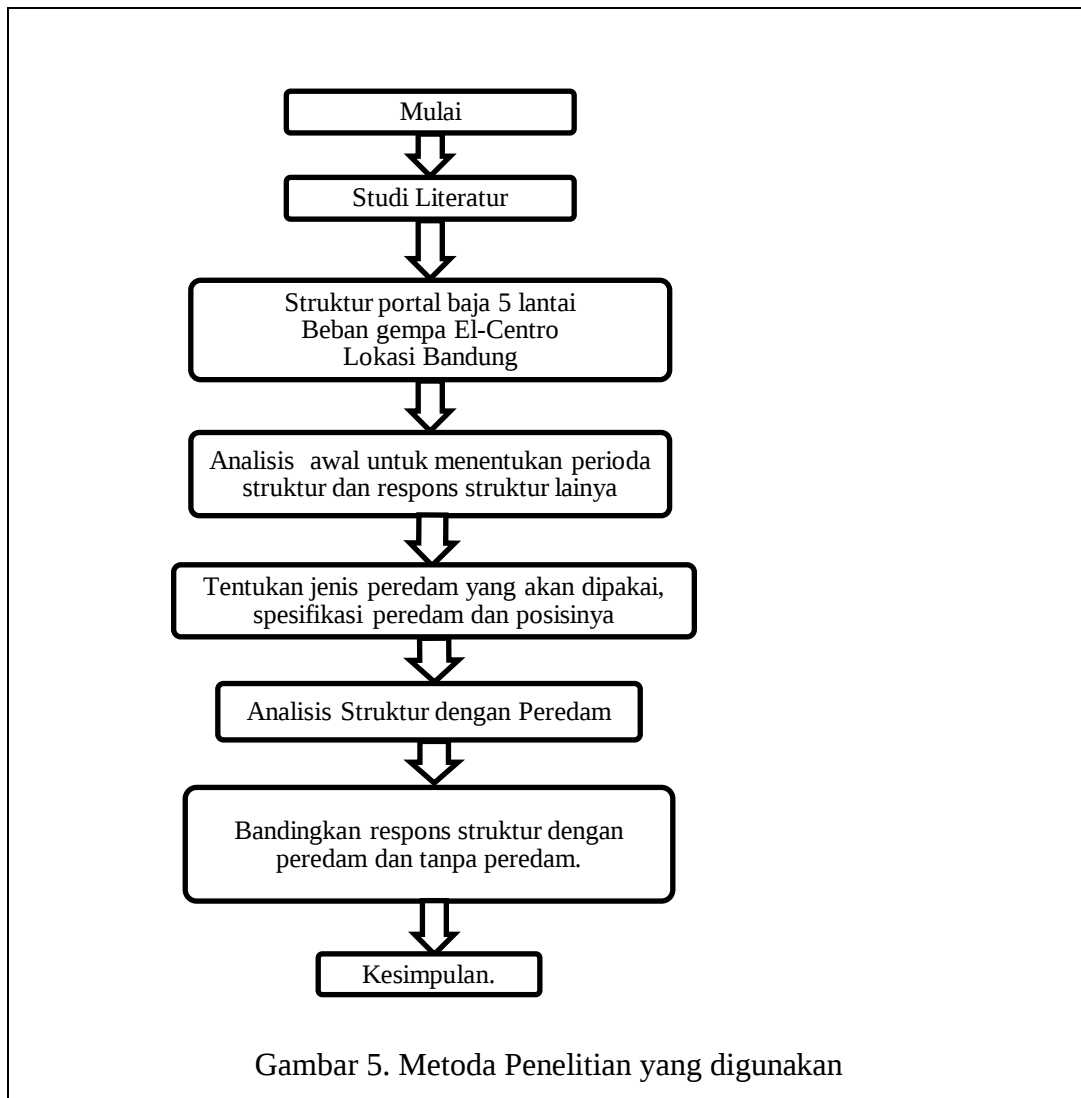
$$\{\ddot{x}\}^T = \{\ddot{x}_1 \quad \ddot{x}_2 \quad \dots \quad \ddot{x}_m \quad \dots \quad \ddot{x}_{n-1} \quad \ddot{x}_n\} \dots\dots\dots (11)$$

3. METODE PENELITIAN

Penggunaan peredam jenis pasif ini digunakan untuk memperkecil respons struktur. Untuk itu perlu dilakukan analisis yang tepat dan kemudian hasilnya

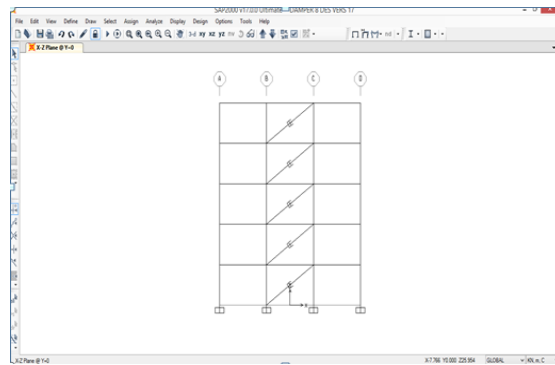
dibandingkan dengan hasil analisis jika tanpa peredam

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis struktur menggunakan SAP2000 untuk menganalisis struktur portal baja 5 lantai tanpa peredam dan dengan peredam pasif tipe viscous, dengan alur sebagai berikut :



Analisis struktur dilakukan pada portal baja 5 lantai, 2 dimensi dengan jumlah bentang 3 buah, bentang per portal 6 m, lebar bentang tegak lurus portal yang ditinjau 4,8 m, tinggi per lantai 4,2 m. Beban gempa El Centro 1940. Bangunan berada di kota Bandung dengan tanah lunak (SE). Material baja A36, Dimensi balok W500x200x10x16, kolom W600x200x11x17.

Untuk menentukan properties damper, dilakukan analisis struktur dengan SAP2000 untuk mengetahui perioda struktur awal. Selanjutnya digunakan spesifikasi peredam **Damper properties** Non linier, yaitu Stiffness = 1000 k/in, Damping = 30 k-sec/in, Damping exponent = 0,5



Gambar 6. Pemodelan struktur dengan *passive device*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis struktur diperoleh periode struktur dan frekuensi struktur seperti berikut.

Tabel 1 Modal Periods and Frequencies

Mode	TANPA PEREDAM			DENGAN PEREDAM		
	Period	Frequency	Eigenvalue	Period	Frequency	Eigenvalue
	Sec	Cyc/sec	rad2/sec2	Sec	Cyc/sec	rad2/sec2
1	0.203624	4.911	952.15	0.239775	4.1706E+00	6.8667E+02
2	0.065081	15.365	9320.7	0.074658	1.3394E+01	7.0829E+03
3	0.036666	27.273	29365	0.040715	2.4561E+01	2.3815E+04
4	0.025257	39.593	61887	0.027231	3.6723E+01	5.3241E+04
5	0.020022	49.946	98482	0.021287	4.6977E+01	8.7124E+04

Tabel 2 memperlihatkan gaya geser dasar hasil analisis untuk struktur tanpa peredam dan struktur dengan peredam.

Tabel 2 Gaya geser dasar (*base shear*)

Arah		Base shear (kN)	
		Damped	Undamped
X	Maksimum	5679.47	5677.011
	Minimum	5675.571	5677.011

Berdasarkan analisis dengan program SAP 2000 dapat dijelaskan bahwa sistem struktur dengan peredam mampu menyerap energi gempa tambahan hampir 100% jika dibandingkan dengan struktur tanpa peredam. Hal ini dapat dilihat dengan perioda struktur yang semakin kecil, semakin kaku. Kekakuan pada struktur ini

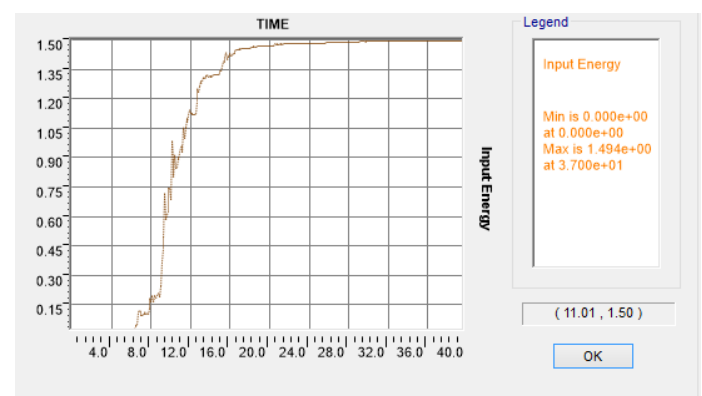
dapat disebabkan adanya peredam, yang menyalurkan gaya lateral ke kolom.

Hasil analisis struktur dengan redaman dan tanpa redaman dapat dilihat pada Tabel 3. Parameter yang dianalisis adalah displacements antar lantai, kecepatan dan percepatan pada lantai.

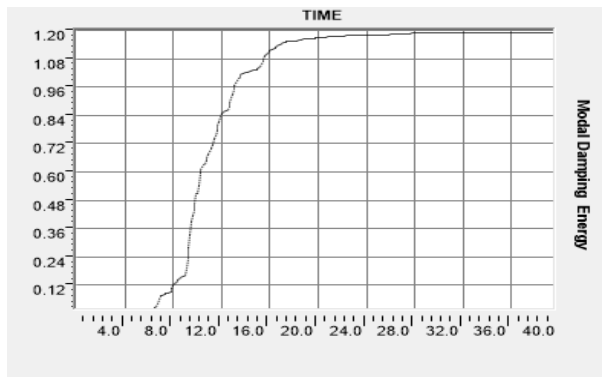
Tabel 3 Response struktur dengan redaman dan tanpa redaman

Lantai		Respon struktur dengan Damper			Respon struktur Undamped		
		Perpindahan (mm)	Kecepatan (mm/dtk)	Percepatan (mm/detik ²)	Perpindahan (mm)	Kecepatan (mm/dtk)	Percepatan (mm/detik ²)
5	Maks	0.01091	0.1683	13921.32667	16.3427	365.61	11619928.92
	Min	-0.37071	-54.3692	-7.12087	-375.7924	-50359.50	-11412.59
4	Maks	0.33027	82.1629	984.06412	328.9297	75897.10	657946.65
	Min	-0.33347	-10.2899	-21607.09870	-336.3831	-8814.74	-19356367.70
3	Maks	0.28281	48.4632	31095.75345	268.9882	41510.55	27704747.60
	Min	-0.31477	-98.7796	-8057.45896	-317.9910	-93860.85	-6405954.53
2	Maks	0.34952	100.4147	22290.28428	348.9023	95237.70	9269503.57
	Min	-0.18022	-44.7961	-21188.94220	-191.7652	-40173.01	-28111148.90
1	Maks	0.34315	85.3668	26291.03560	349.5232	80648.85	21698055.38
	Min	-0.30902	-68.1933	-20728.78710	-308.5198	-73510.79	-18608881.70

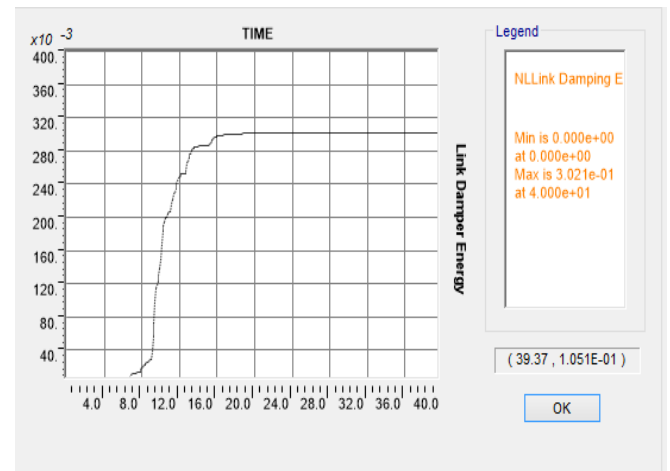
Besarnya energi redaman yang dihasilkan pada struktur dengan redaman adalah 132 kN-m. Plot grafik hubungan energi vs waktu dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9 berikut.



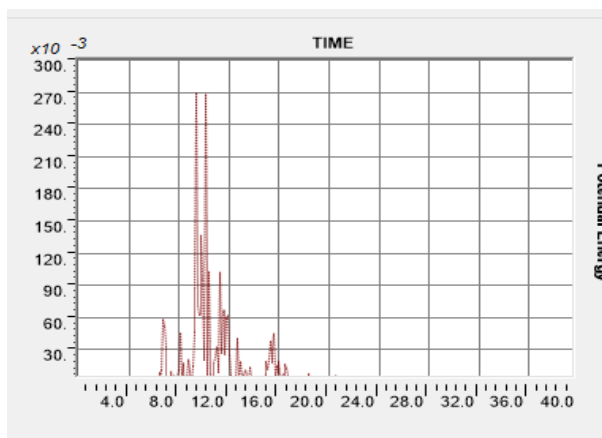
Gambar 7. Hubungan input energi vs waktu



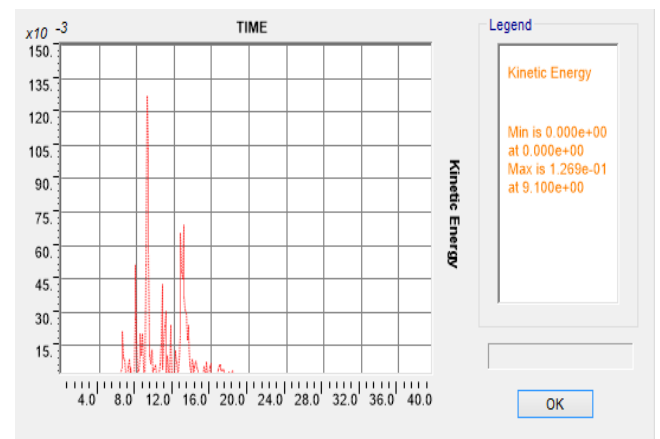
Gambar 8. Hubungan *modal damping energy* vs waktu



Gambar 10. Grafik *Link Damper Energy*



Gambar 9. Grafik Energi potensial vs Waktu



Gambar 11. Grafik energi kinetik vs waktu

5. KESIMPULAN

Penggunaan peredam pada struktur rangka baja yang dikenai beban gempa mampu mereduksi respon struktur baik perpindahan, kecepatan maupun percepatan.

Kinerja struktur yang menggunakan peredam lebih baik dibandingkan kinerja struktur tanpa peredam. Hal ini dapat dilihat dari berkurangnya simpangan lantai atau gaya geser akibat beban gempa.

Peredam pada lantai 1 mendisipasi energi lebih besar dari lantai di atasnya. Lokasi penempatan peredam pada arah x terbukti mampu meningkatkan kinerja struktur.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anil K .Chopra, “*Dynamics of Structures – Theory and Application to Earthquake Engineering*”, 2007.
- Fracklin Y. Cheng, Hongping Jiang, Kangyu Lou, “*Smart Structures Innovative Systems for Seismic response Control*”, CRC Press, 2008.
- Newmark, N M and Hall, W. J., Earthquake, Spectra, and Design, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Oakland, CA, 1981
- Hanson,R.D., and Soong,T.T., (2001), “Seismic Design with Supplemental Energy Dissipation Devices,” Earthquake Engineering Research Institute, Oakland (CA), USA
- Skinner,R.I., Robinson,W.H., and McVerry,G.H., (1999), “An Introduction to Seismic Isolation,” John Wiley & Sons, USA.